
CFK-STRUKTUREN FÜR FÜGE- UND LASERSCHNEIDANLAGEN

Abt. Funktionsintegrierter Leichtbau

Dr.-Ing. Thomas Hipke





Versuchsfeld Chemnitz / Umformen



Versuchsfeld Chemnitz / Spanen



Versuchsfeld Dresden

CFK -
Kohlefaser verstärkte Kunststoffe
Grundlagen



Kohlefaserverbrauch global

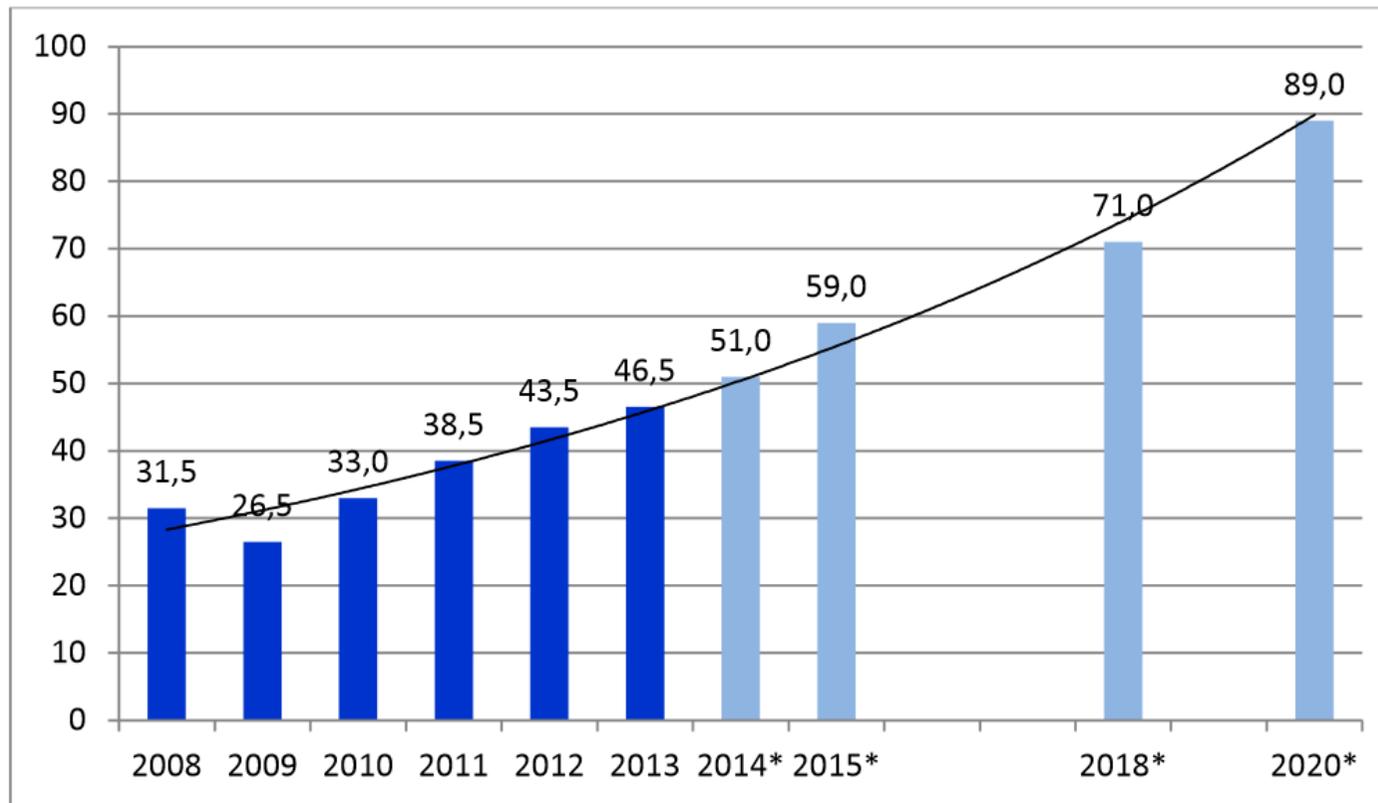


Abbildung 1: Globaler Bedarf von Carbonfasern in Tsd. Tonnen 2008 bis 2020 (* Schätzungen). [1] [2]

Erwartete Wachstumsraten: ca. 10 Prozent pro Jahr!

Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV)

Vorteile:

- extrem hohe Steifigkeit & Festigkeit bei geringer Dichte
- sehr hohe Dauerfestigkeit
- gute Dämpfungseigenschaften
- anforderungsgerechte Gestaltung
- einstellbare Eigenschaften (elektrischer Isolator oder Leiter;
thermischer Ausdehnungskoeffizient „Null“ möglich)
- gute Chemikalienbeständigkeit
- röntgentransparent, antimagnetisch

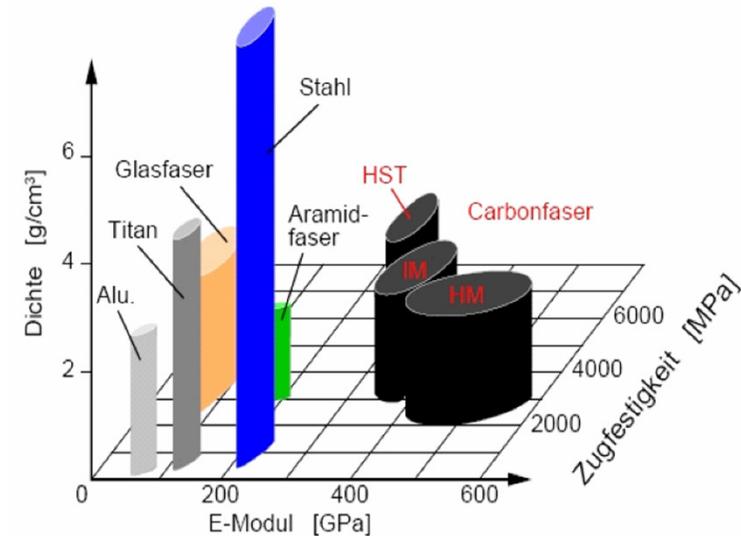


Nachteile:

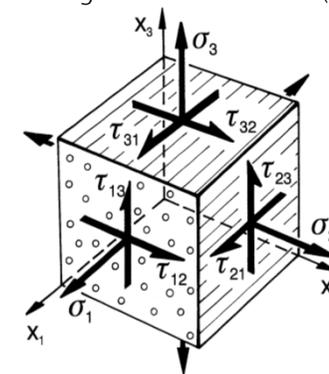
- relativ hoher Materialpreis (besonders Kohlenstofffasern)
- überragende mechanische Eigenschaften nur in Faserlängsrichtung → aufwendigere Dimensionierung

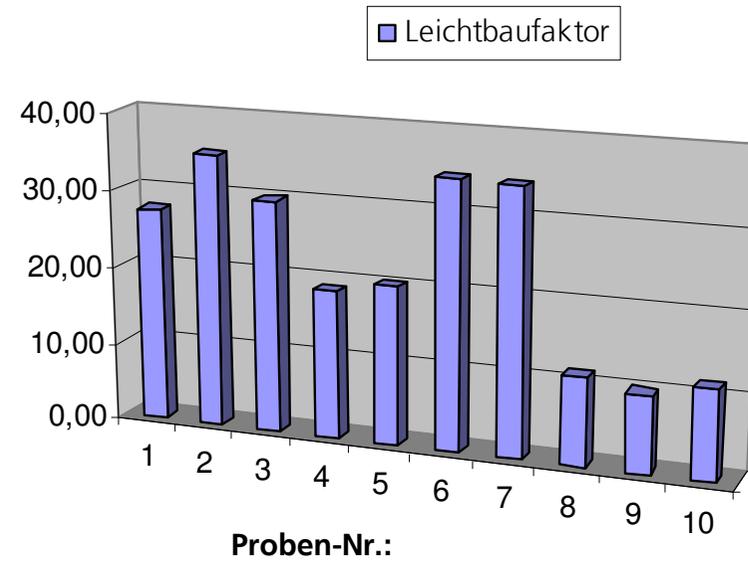
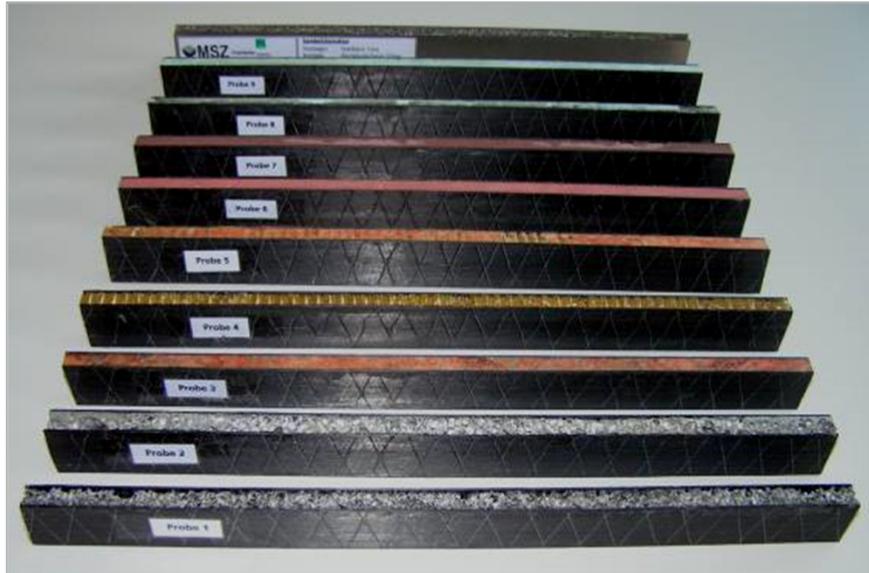


Mechanische Eigenschaften von Verstärkungsfasern und Metallen



Spannungen am UD-Verbund (Gelege)

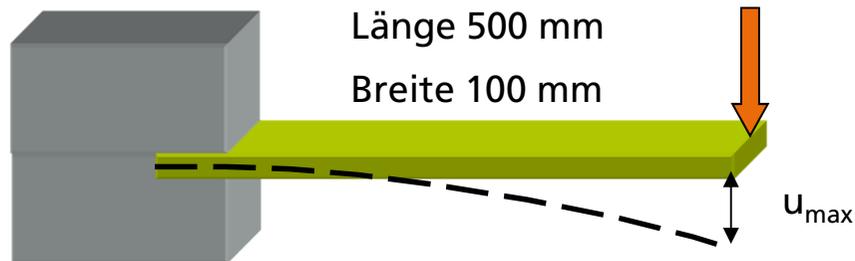




| Proben-Nr.: | Decklagen- material | Kernmaterial | Kernmaterial Besonderheit | Kleber | Durchbiegung bei 100N [mm] | Laminat- gewicht [g] | Leichtbau- faktor |
|-------------|------------------------|--------------|------------------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | CFK (UHM) | Al-Schaum | von Fremdfirma | Epoxidharz | 0,404 | 90 | 27,50 |
| 2 | CFK (UHM) | Al-Schaum | vom IWU | Epoxidharz | 0,186 | 153 | 35,14 |
| 3 | CFK (UHM) | Al-Schaum | von Fremdfirma | PUR-Kleber | 0,310 | 108 | 29,87 |
| 4 | CFK (UHM) | Aramidwaben | | Epoxidharz | 0,834 | 63 | 19,03 |
| 5 | CFK (UHM) | Aramidwaben | | PUR-Kleber | 0,450 | 109 | 20,39 |
| 6 | CFK (UHM) | KBM 0,4 | | Epoxidharz | 0,274 | 106 | 34,43 |
| 7 | CFK (UHM) | KBM 0,7 | | Epoxidharz | 0,230 | 127 | 34,23 |
| 8 | CFK (UHM) | Styrodur | mit CFK-Steg in der Mitte | Exoxidharz | 1,344 | 66 | 11,27 |
| 9 | CFK (UHM) | Styrodur | | Epoxidharz | 1,590 | 63 | 9,98 |
| 10 | Stahl | Al-Schaum | | angeschäumt | 0,343 | 250 | 11,66 |

Grundlagen – Eigenschaften und Kennwerte

Eigenschaftsvergleich: CFK vs. Metall



| Bezeichnung | | Dichte [g/cm ³] | Verbund- E-Modul [GPa] | Verbund- Festigkeit [MPa] |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Stahl (S235) | | 7,80 | 210 | 470 |
| Aluminium (AlMGSi 0,5) | | 2,70 | 70 | 190 |
| CFK (Gelege) | Standardfaser | 1,56 | 138 | 2.940 |
| | Ultrahochmodul-Faser | 1,74 | 384 | 1.560 |

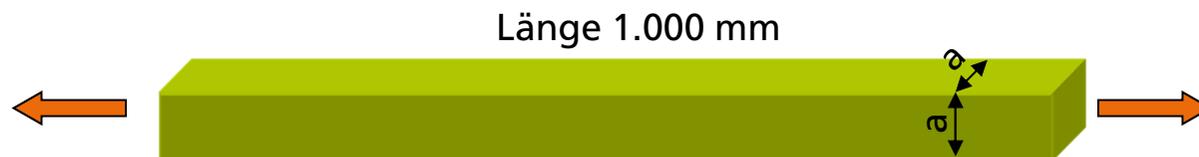
Identische Biegesteifigkeit:

| Bezeichnung | | Dicke [mm] | Masse [g] | Material- Kosten [€] | |
|------------------------|----------------------|---------------|-------------------|----------------------------|------|
| Stahl (S235) | | 10,00 | 3.900 | 7,80 | |
| Aluminium (AlMGSi 0,5) | | 14,42 | 1.947 -50% | 9,74 | 25% |
| CFK (Gelege) | Standardfaser | 11,50 | 897 -77% | 49,34 | 533% |
| | Ultrahochmodul-Faser | 8,18 | 711 -82% | 71,10 | 812% |

Grundlagen – Eigenschaften und Kennwerte

Eigenschaftsvergleich: CFK vs. Metall

| Bezeichnung | | Dichte [g/cm ³] | Verbund- E-Modul [GPa] | Verbund- Festigkeit [MPa] |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Stahl (S235) | | 7,80 | 210 | 470 |
| Aluminium (AIMGSi 0,5) | | 2,70 | 70 | 190 |
| CFK (Gelege) | Standardfaser | 1,56 | 138 | 2.940 |
| | Ultrahochmodul-Faser | 1,74 | 384 | 1.560 |



**Identische
Dehnsteifigkeit:**

| Bezeichnung | | a [mm] | Masse [g] | Material- Kosten [€] | |
|------------------------|----------------------|-----------|-----------------|----------------------------|------|
| Stahl (S235) | | 10,00 | 780 | 1,56 | |
| Aluminium (AIMGSi 0,5) | | 17,32 | 810 4% | 4,05 | 160% |
| CFK (Gelege) | Standardfaser | 12,34 | 237 -70% | 13,04 | 736% |
| | Ultrahochmodul-Faser | 7,40 | 95 -88% | 9,50 | 509% |

CFK -
Kohlefaser verstärkte Kunststoffe
Anwendungen

Potentielle Anwendungsfelder

Mögliche Bauteile für Umsetzung in CFK-Verbundbauweise:

- **Bewegte prismatische Strukturbauteile** (Pinole, Spindelkasten, Schlitten, Rundtisch, Ständer, Querbalken, ...)
- **Rotationssymmetrische Bauteile** (Werkzeugspindel, Stoßspindel, ...)
- **Handling-Baugruppen** (Werkzeugwechslerbauteile, Werkstückwechsler, Werkstückmanagementsysteme, Palettenbrücken, Balken, ...)
- **Maschinenverkleidung** (Berstschutz, ...)

Anwendung – Anwendungs- und Produktbeispiele

Potentielle Anwendungsfelder



Potentielle Zusatzkomponenten

- **Werkzeugwechsler**
 - + Hochdynamisches Bauteil
 - + Meist uniaxiale Belastung
 - Werkzeug oft Hauptträgheitsmasse
- **Werkstückspeicherung (Drehbearbeitung)**
 - + Leichtbau ermöglicht bessere Werkstückspeicherung bei hohen Drehzahlen
 - Bereits erhältlich bei Hainbuch
- **Werkstückspeicherung (Fräsbearbeitung)**
 - + Höhere Achsdynamik in A- und B-Achse
 - Kleine Bauteile
 - Bereits erhältlich bei Hainbuch
- **Energie- und Medienzufuhrsysteme**
 - + Leichtbaupotential auch im TCP-fernen Bereich
 - Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Blechbauteilen nicht sehr hoch

Relevanz als Materialhybrid / Faserverbund

Hoch

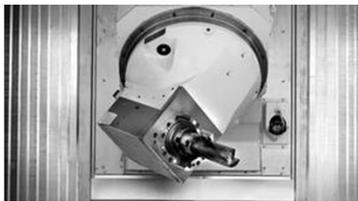
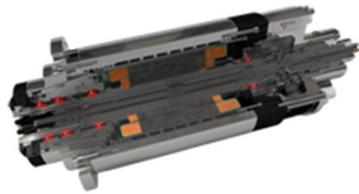
Niedrig

Mittel

Niedrig

Anwendung – Anwendungs- und Produktbeispiele

Potentielle Anwendungsfelder



Quellen: Weiss, Heller, Chiron

Potentielle Strukturkomponenten

- **Hauptspindel**
 - + Umfangreiche Untersuchungen vor 20 Jahren (Diss. Herberg (1991), Kaiser (1988))
 - Bisher keine Verwendung in modernen WZM
- **Spindelkasten**
 - + Forschungsprojekt TU-Berlin (2002)
 - + Wird immer mitbewegt
 - + Hohe erreichbare thermische Stabilität
- **Verfahrständer**
 - Bisher nicht als Faserverbundsstruktur gebaut
 - Wirtschaftlichkeit fragwürdig
- **Dreh-Schwenktisch**
 - + Hohe Anforderungen an Dynamik bei Impeller, Blisk und Blade Fertigung

Relevanz als Materialhybrid / Faserverbund

Hoch

Mittel

Hoch

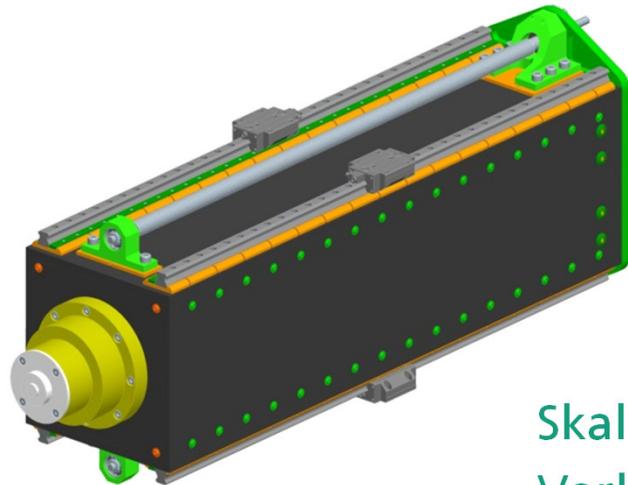
Hoch

Anwendung – Anwendungs- und Produktbeispiele

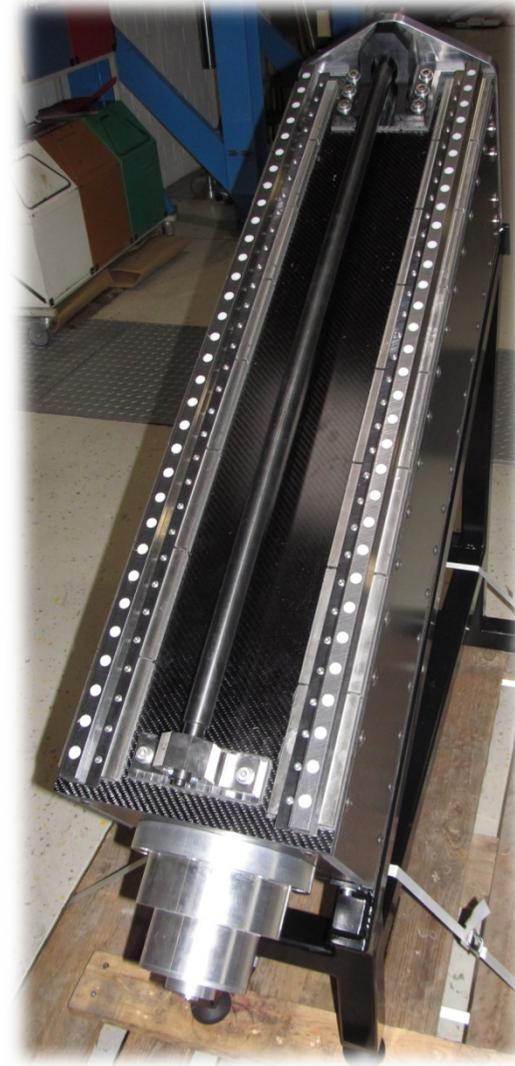
Z-Schieber in Faserverbundbauweise

Realisierung

- FKV-Differentialbauweise
 - CFK-Platten
 - CFK-Sandwiches
 - Stahlteile an Krafteinleitungspunkten
- Fügen durch Kleben



Skalierte Baugruppe für
Vorlaufforschung



Anwendung – Anwendungs- und Produktbeispiele

CFK-Querbalken einer Laserschneidanlage

Merkmale

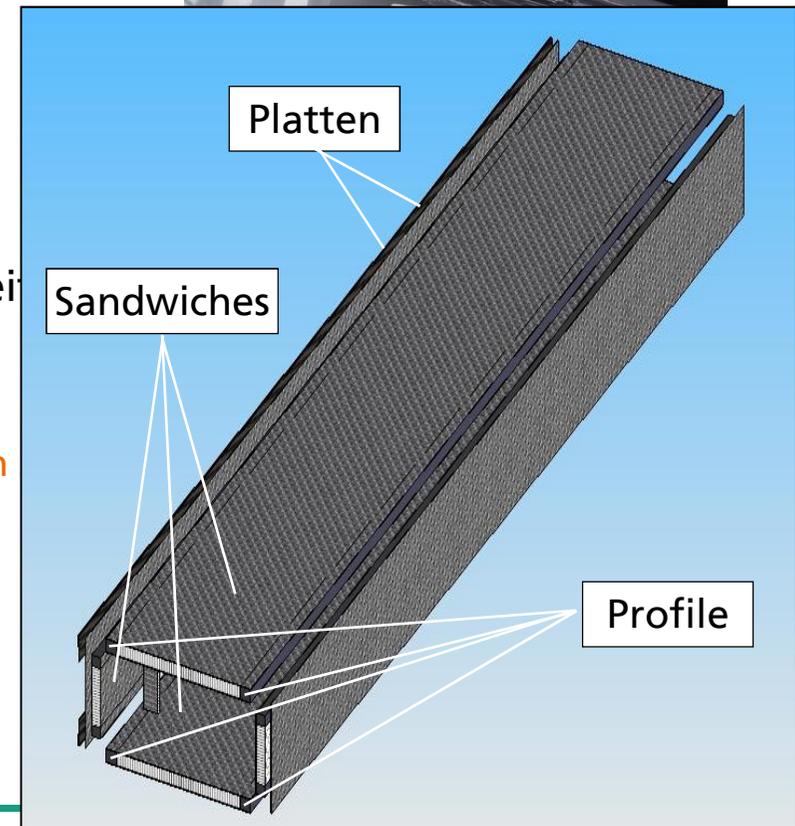
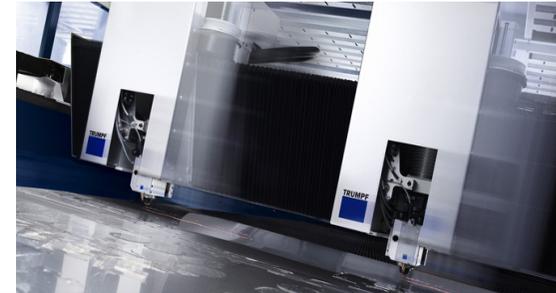
- 2 asynchron arbeitende Lasereinheiten
- sehr hohe Dynamik des Balkens:
Beschleunigungen bis 2,5 g

Vorteile gegenüber Stahl-Variante

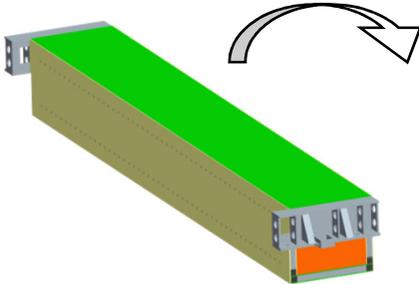
- 50 Prozent Masseinsparung
- bis zu 100 Prozent Erhöhung der Bauteilsteifigkeit
→ dyn. Steifigkeitserhöhung um Faktor 4
→ Resultat: **70% Produktivitätssteigerung**
(CFK-Baugruppe etwa 4x teurer, Amortisierung nach ...)

Differential-Bauweise

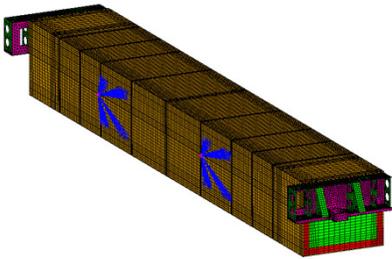
- CFK-Aluwaben-Sandwiches; CFK-Gurte
- Stahl-Auflager
- Fügen der kompletten Struktur durch Kleben



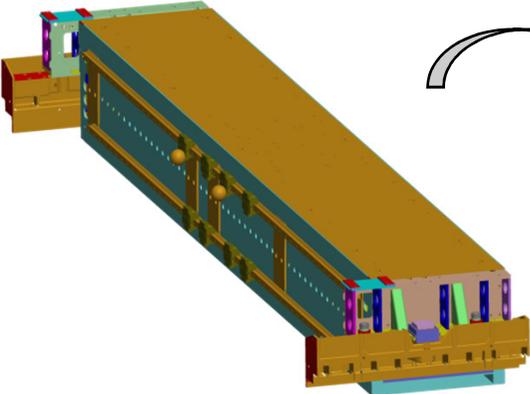
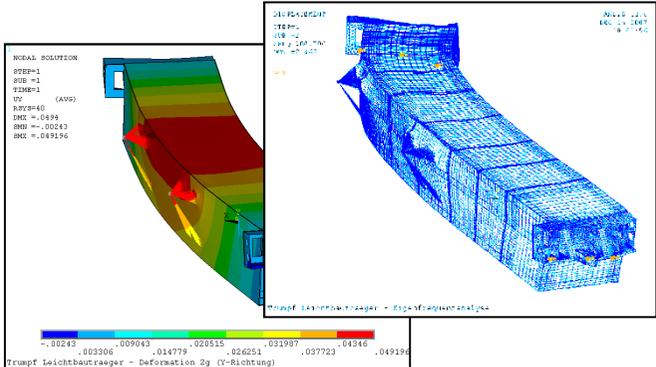
Technologieentwicklung CFK-Leichtbauträger



CAD



FEM



Detaillierung



Prototypen- u. Kleinserienbau



Messtechnik

Werkzeugmaschinenkomponenten in Faserverbundbauweise

CFK-Koppel KUKA-Palettierroboter KR180-2 PA



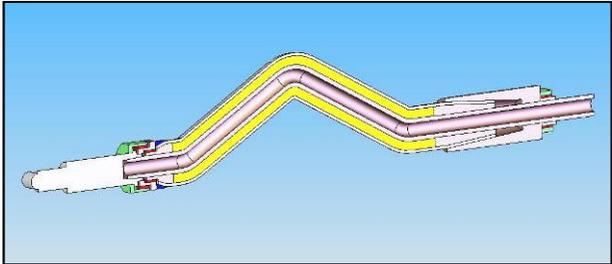
Eigenschaftsvorteile:

- ca. 60 % Massereduzierung gegenüber Aluminium
- sehr hohe Beschleunigungen
- sehr gutes Dämpfungsverhalten
- relativ geringe Antriebsleistung
- hohe Traglast bei gleichzeitig großer Reichweite

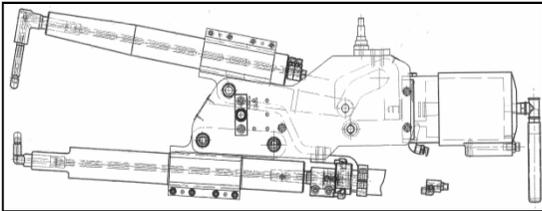


**signifikante Produktivitätssteigerung
bei verbesserter Positioniergenauigkeit**

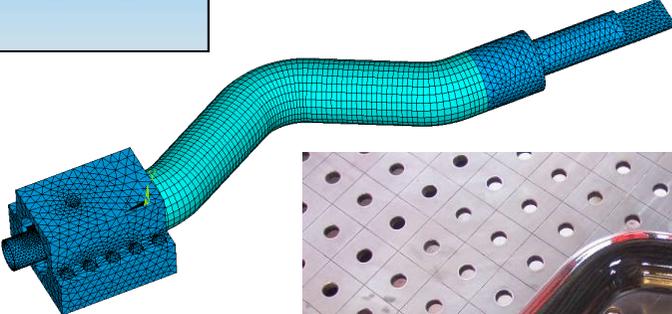
Grundlagenuntersuchung: Schweißzange in CFK-Verbundbauweise



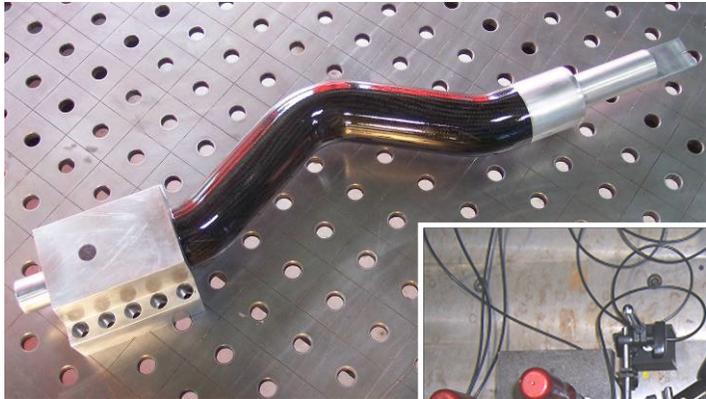
CAD-Konzept



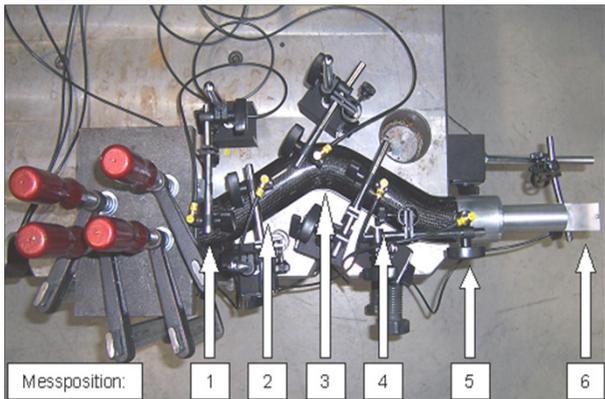
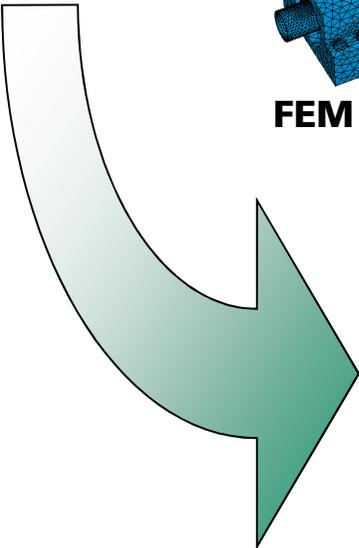
Konventionelle Schweißzange



FEM



Prototypenbau/
Demonstrator



Messtechnik

Grundlagenuntersuchung: Schweißzange in CFK-Verbundbauweise

Ergebnisse:

Eigenschaften des Strukturbauteils:

- **Schlauchblastechnik** mit guter Oberflächenqualität und hohem Faservolumenanteil
- ca. **29 % Massereduzierung** gegenüber herkömmlicher Stahlkonstruktion
- ca. **9 % Steifigkeitserhöhung** gegenüber herkömmlicher Stahlkonstruktion (gerader Zangenarm)
- sehr gute **Dämpfungseigenschaften**

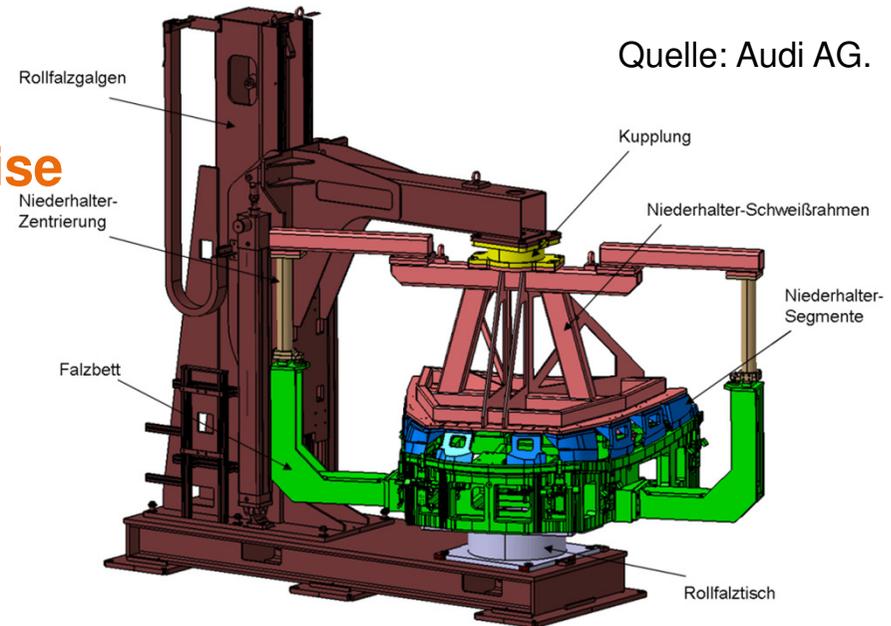


**Produktivitätssteigerung
bei steigender Qualität**

Innovationsprojekt

Leichtniederhalter in CFK-Bauweise

Zielstellung



- Entwicklung eines **Leichtbauniederhalters einer Rollfalzvorrichtung** unter ganzheitlicher Betrachtung der Gesamtperipherie (Galgen, Falzbett, -tisch, Niederhaltersegmente)
- **Signifikante Massereduzierung (ca. 30 %)** und verbesserte dynamische Eigenschaften
- **Steigerung** der **Funktionalität** und **Effizienz** der Anlagen

Innovationsprojekt Leichtniederhalter in CFK-Bauweise

- **Leichtbauniederhalter für das Rollfalzen**
(Motorhaube Bentley 624, Motorhaube Porsche Cayenne)

→ 30 % Masseinsparung

→ nur 7 % höhere Kosten für Prototyp

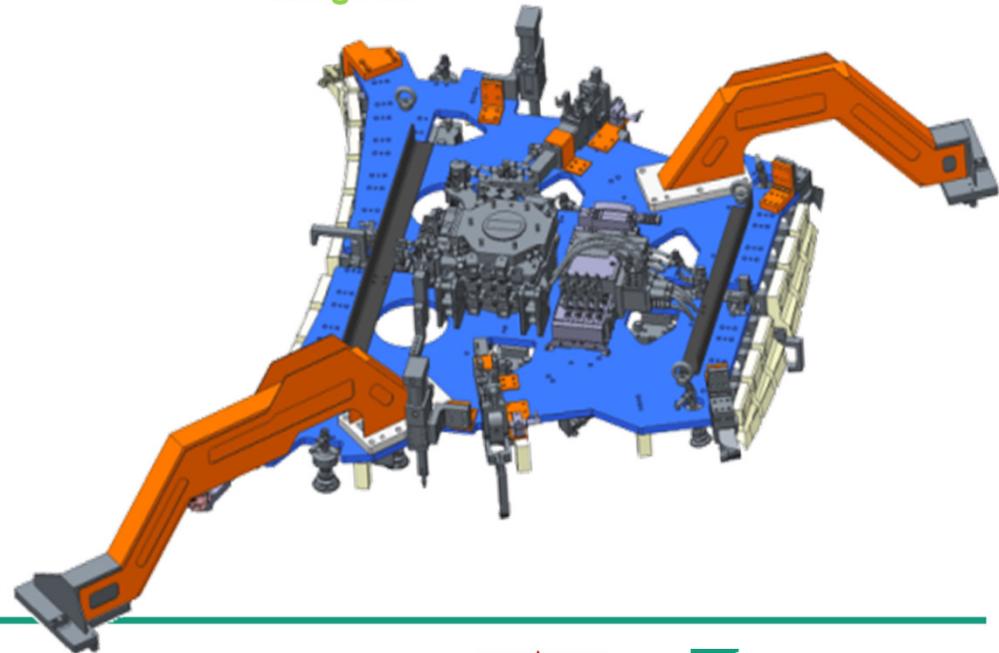
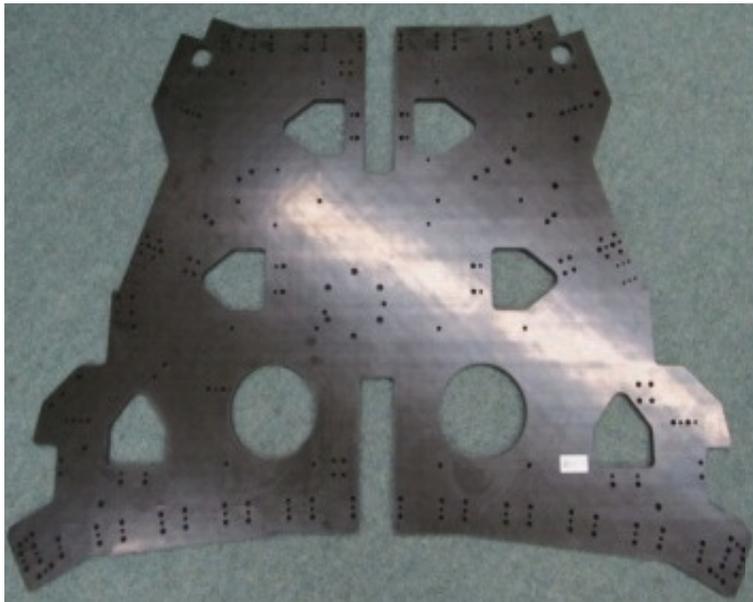
→ Anwendung einfacher, dickwandiger CFK-Platten

POTENTIAL: Standardkonzept für Betriebsmittel

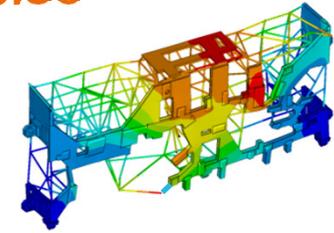
Energieeinsparung durch

kosteneffizienten Leichtbau,

Einsatz kleinerer Roboterklassen
möglich



Innovationsprojekt **Schweißvorrichtung in CFK-Bauweise**



Ausgangssituation / Problemstellung

- Konventionelle Strukturen: Stahl-/Al-Schweißkonstruktion, walzprofilierte Halbzeuge

→ **flexibel und wirtschaftlich**

Nachteil:

hohes Gewicht

- Konzept „FVK-Fachwerk“: Hohe Steifigkeit, geringes Gewicht, metallische Knotenelemente

Ziel: Reduzierung von Antriebsenergien & Taktzeiten
Massereduzierung bei gleichbleibender Steifigkeit

→ **ca. 50 % Masseinsparung**

**Nachteil: laminierte Einzelteile sehr teuer,
schweres, nur bedingt geeignetes
Knotenkonzept**

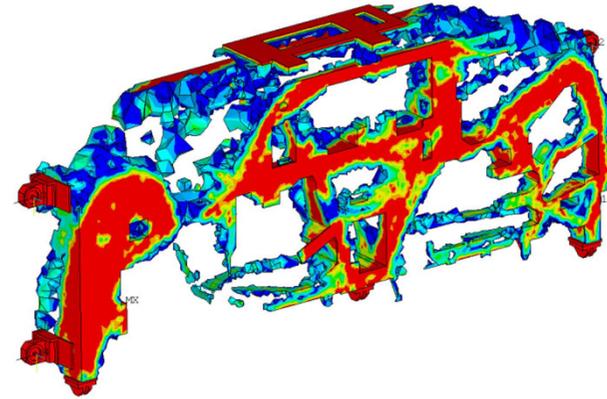
Innovationsprojekt **Schweißvorrichtung** in CFK-Bauweise

Ausgangssituation

Stahlprofil-Schweißkonstruktion

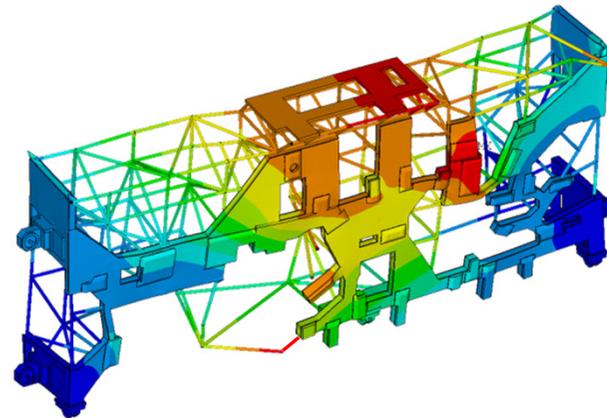
Angewandte Leichtbauprinzipien

- **Material**-Leichtbau:
Hybridbauweise (CFK, Stahl, Aluminium)
- **Struktur**-Leichtbau:
Topologieoptimierung, Fachwerk, Sandwiches



Ergebnisse CFK-Lösung

- Bauteilsteifigkeit: **unverändert**
- Bauteilmasse: **-51 Prozent**



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!!!!

CFK

Auf dem Weg zur Serie



Fragen, Hinweise, ...